

# PENETAPAN KONTAMINAN RADIONUKLIDA PEMANCAR GAMMA DALAM PRODUK $^{99}\text{Mo}$ HASIL FISI URANIUM PENGKAYAAN RENDAH

Kadarisman

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR)-BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

## ABSTRAK

**PENETAPAN KONTAMINAN RADIONUKLIDA PEMANCAR GAMMA DALAM PRODUK  $^{99}\text{Mo}$  HASIL FISI URANIUM PENGKAYAAN RENDAH.** Telah dilakukan percobaan penetapan pengotor radionuklida pemancar gamma di dalam produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil fisi dari bahan sasaran uranium pengayaan rendah dengan metoda ekstraksi Iod-Thio. Radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  hasil fisi LEU dapat dipisahkan dari pengotor radionuklida golongan halogen (terutama Iodium) dengan ekstraksi Iod dan dari pengotor radionuklida golongan logam dengan ekstraksi Thio, yang masing-masing di atas 99,81 %. Pengotor radionuklida pemancar gamma yang terkandung dalam produk  $^{99}\text{Mo}$  adalah  $^{131}\text{I}$ ,  $^{105}\text{Rh}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  dan  $^{95}\text{Nb}$ . Pengotor radionuklida  $^{131}\text{I}$  berada di semua fraksi hasil pemisahan ekstraksi Iod dan Thio, dengan radioaktivitas dalam sampel A yaitu masing-masing sebesar  $1,59 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  dan  $8,89 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  dan dalam sampel B masing-masing sebesar  $1,98 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  dan  $1,82 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ .

**Kata Kunci :** Molibdenum-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ), fisi, uranium dan pemancar gamma.

## ABSTRACT

**DETERMINATION OF GAMMA EMITTER RADIONUCLIDES IMPURITIES IN  $^{99}\text{Mo}$  FISSION PRODUCTS OF LOW ENRICHED URANIUM.** Determination of the gamma emitter radionuclides impurities in  $^{99}\text{Mo}$  fission products from Low Enriched Uranium (LEU) by Iod-Thio extraction method was carried out.  $^{99}\text{Mo}$  radioisotope from fission products of LEU was separated from halogen radionuclides impurities group (Iodium especially) by Iod extraction and from metal radionuclides impurities group by Thio extraction, more than 99,81 % respectively. The gamma emitter radionuclides impurities detected in the  $^{99}\text{Mo}$  fission products were  $^{131}\text{I}$ ,  $^{105}\text{Rh}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  and  $^{95}\text{Nb}$ .  $^{131}\text{I}$  radionuclides impurities in all fractions as a result of Iod and thio extractions. Its respective radioactivity in sample A is  $1,59 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi in } ^{99}\text{Mo}$  and  $8,89 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ , and in sample B is  $1,98 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi in } ^{99}\text{Mo}$  and  $1,82 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  respectively.

**Keywords :** Molybdenum-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ), fission, Uranium and gamma emitter.

## PENDAHULUAN

Radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  merupakan radioisotop induk dari  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , yang paling luas penggunaannya untuk keperluan diagnosis dalam bidang kedokteran nuklir atau kesehatan<sup>[1,2,3]</sup>. Hasil belah inti uranium meliputi radioisotop yang amat kompleks, baik dari sudut bentuk fisik, kimia maupun cara peluruhan<sup>[4]</sup>.

Pengotor radionuklida pemancar gamma di dalam produk  $^{99}\text{Mo}$  dapat digolongkan menjadi tiga kelompok, yaitu kelompok gas mulia, (misalnya xenon dan kripton), kelompok logam (misalnya rhodium, ruthenium, barium dan zirkonium), dan kelompok halogen (misalnya iodium), dengan tingkat keradioaktifan serta jenis dan energi radiasi yang bervariasi. Oleh karena itu, pemurnian produk  $^{99}\text{Mo}$  memerlukan prosedur yang rumit dan perlu dilakukan secara hati-hati.

Pemurnian produk  $^{99}\text{Mo}$  dari hasil iradiasi uranium meliputi proses pelarutan uranium hasil iradiasi menggunakan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HNO}_3$ , pengendapan dengan alfa benzoin oksim, pencucian endapan, pelarutan kembali endapan, dan kemudian diikuti tahap pemurnian lebih lanjut melalui 2 buah kolom kromatografi<sup>[5,6,7]</sup>. Walaupun sudah melalui tingkatan-tingkatan (tahapan-tahapan) pemisahan yang panjang, beberapa pengotor radionuklida masih terikut ke dalam produk akhir  $^{99}\text{Mo}$ .

Pengukuran pengotor radionuklida pemancar gamma baik dari kelompok logam maupun kelompok halogen dalam produk  $^{99}\text{Mo}$  dengan teliti dapat tercapai jika pengotor-pengotor ini dapat dipisahkan secara baik dari produk  $^{99}\text{Mo}$ . Oleh karena itu, untuk dapat memisahkan dua kelompok pengotor radionuklida di atas dilakukan preparasi cuplikan dengan cara ekstraksi lod dan Thio secara terpisah (Gambar 1)<sup>[8]</sup>. Diharapkan dengan metoda ini pengotor radioisotop pemancar gamma dari dua

kelompok di atas dapat dianalisis secara akurat.

Pengotor radionuklida pemancar gamma kelompok logam, terutama kelompok lantanida dipisahkan dari produk  $^{99}\text{Mo}$  dengan cara ekstraksi menggunakan thiosianat-etilasetat. Dengan cara ini, molibdenum diubah ke dalam bentuk senyawa kompleks thio-molibdenum, yang mudah larut di dalam pelarut organik (etil asetat), dengan efisiensi pemisahan di atas 98 %<sup>[9,10]</sup>, sedangkan logam-logam lantanida tidak larut di dalam pelarut organik.

Kelompok halogen, terutama radioiodium, dipisahkan dari produk radio-molibdenum-99 dengan cara ekstraksi menggunakan pelarut kloroform. Pengotor radioiodium akan terekstraksi ke dalam spesi kloroform, sedangkan spesi molibdenum dan pengotor radionuklida kelompok logam berada dalam lapisan anorganik (air).

Dalam makalah ini diterangkan preparasi cuplikan, cara pengukuran pengotor radionuklida pemancar gamma menggunakan spektrometer gamma, penetapan tingkat pemisahan radiomolibdenum-99 dengan pengotor radionuklida pemancar gamma dan penetapan kandungan kontaminan pengotor radionuklida pemancar gamma dalam produk  $^{99}\text{Mo}$  dari target uranium pengayaan rendah (*Low Enriched Uranium = LEU*).

## TATA KERJA

### • Bahan dan peralatan

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil belah uranium pengayaan rendah yang diiradiasi di dalam reaktor Serba Guna pada fluks neutron sekitar  $1,12 \times 10^{14} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  selama 96 jam. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah : Asam klorida pekat, asam nitrat pekat, sodium nitrat 20 %, kloroform, larutan pembawa kalium iodida, larutan NaOH 0,01 N. larutan ammonium

tiosianat 50 %, larutan stanous klorida 10 % dalam HCl 10 %, asam sulfat 1 : 9 dalam akuabides, larutan ferri sulfat dengan Fe 10 mg/mL dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 %, larutan pembawa radioisotop hasil belah (yang terdiri dari 10 mg RhCl<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O dalam 50 mL akuabides, 10 mg K<sub>2</sub>RuCl<sub>6</sub> dalam 10 mL larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 : 9, dan 500 mg MoO<sub>3</sub> dalam 20 mL NaOH 1,0 N), etil asetat, kertas tissue, kertas whatman, kantong plastik dan akuabides.

Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini adalah Spektrometer Gamma Pencacah Saluran Ganda (*Multichannel Analyzer = MCA*) yang dilengkapi dengan detektor HP-Ge tipe N (*Tenelec*), catu daya model PS-ORTEC 4001 M dan PS-ORTEC 495, dan amplifier model TC-244 (*Tenelec*), corong pemisah dengan volume 125 mL, pipet Eppendorf 50 µl dan 100 µl, dan botol pencacah 60 mL.

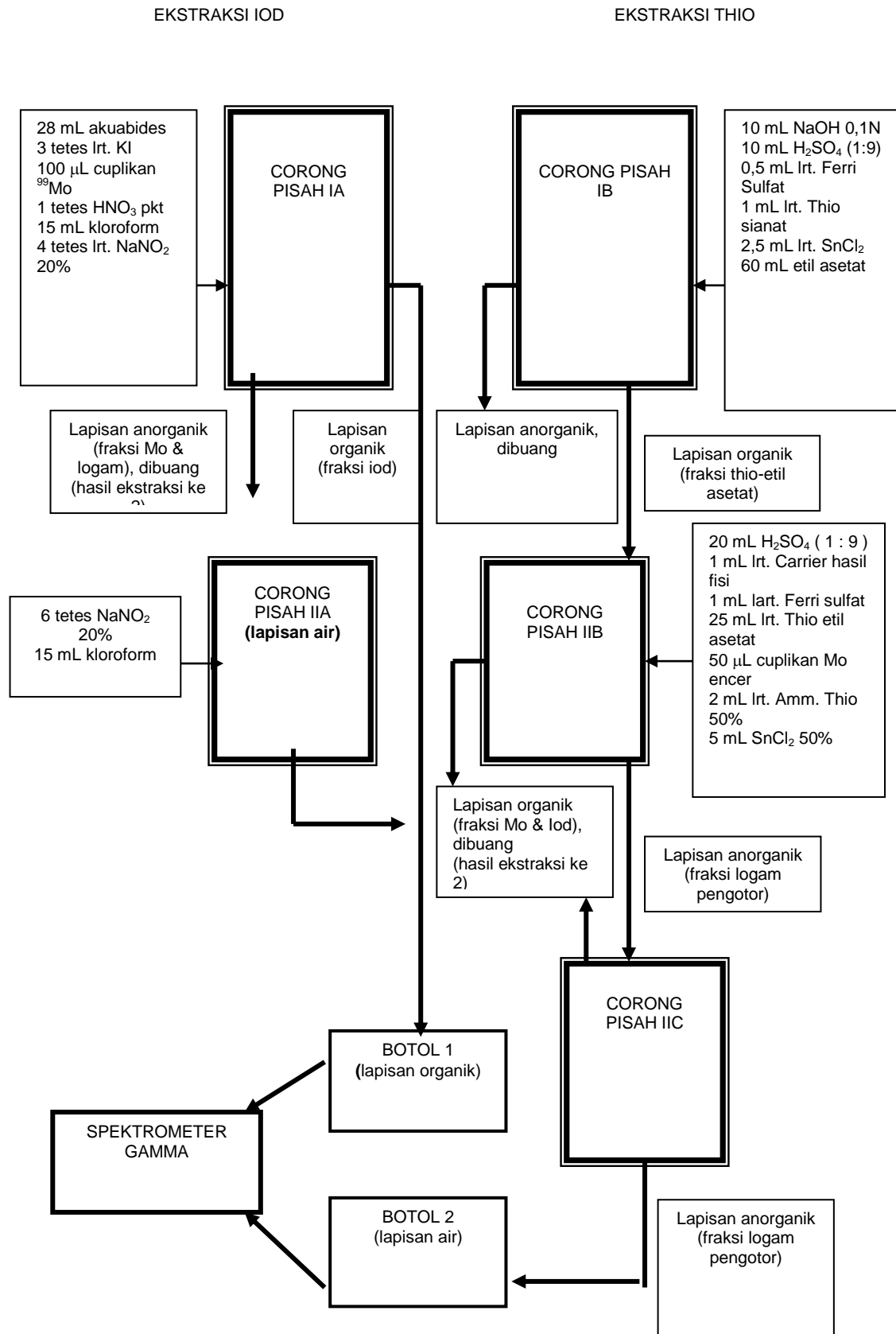
#### • Preparasi cuplikan dengan ekstraksi iod

Ekstraksi cuplikan produk <sup>99</sup>Mo dengan iod dilakukan secara berturut-turut sebagai berikut ; 28 mL air bebas ion (akuabides), 3 tetes larutan kalium iodida, 100 µl cuplikan produk <sup>99</sup>Mo encer, 1 tetes HNO<sub>3</sub> pekat, 15 mL kloroform, 4 tetes larutan NaNO<sub>2</sub> 20 % dimasukkan ke dalam corong pemisah IA (Gambar 1). Campuran larutan dikocok kurang lebih selama 3 menit. Diamkan larutan di dalam corong pemisah IA sampai lapisan kloroform dan lapisan air terpisah. Lapisan anorganik dimasukkan ke

corong pemisah IIA guna diekstraksi kedua kalinya dan lapisan kloroform dimasukkan ke dalam botol pencacah 1 (60 mL). Lapisan air dalam corong pisah IIA dipindahkan ke IA. Diulangi ekstraksi lapisan air di dalam corong pemisah IA dengan menambahkan 6 tetes NaNO<sub>2</sub> 20 % dan 15 mL kloroform, kocok selama 2 menit dan dibiarkan larutan sampai terpisah antara lapisan kloroform dengan lapisan air. Lapisan kloroform dimasukkan ke dalam botol pencacah kesatu yang berisi lapisan kloroform pada ekstraksi yang pertama, kemudian lapisan air dibuang.

#### • Preparasi larutan thiosianat-etil asetat

Semua bahan kimia sebagai reagen pengekstraksi disimpan di dalam lemari pendingin. Larutan thiosianat-etil asetat dibuat dengan memasukkan secara berturut-turut 10 mL larutan NaOH 0,1 N, 10 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1 : 9), 0,5 mL larutan ferri sulfat, 1 mL larutan thiosianat, 2,5 mL larutan SnCl<sub>2</sub>, 60 mL etil asetat ke dalam 100 mL corong pemisah IB (Gambar 1). Larutan campuran didiamkan sampai lapisan organik terpisah dengan lapisan air. Lapisan air dibuang dan **lapisan** thiosianat-etil asetat disimpan.



Gambar 1. Skema preparasi cuplikan dengan ekstraksi iod dan thio

### • Preparasi cuplikan dengan ekstraksi thio

Asam sulfat ( 1 : 9 ) sebanyak 20 mL dimasukkan ke dalam corong pemisah IIB (Gambar 1). Tambahkan berturut-turut 1 mL larutan pembawa hasil fisi, 1 mL larutan ferri sulfat, 50  $\mu$ L cuplikan produk  $^{99}\text{Mo}$  encer, 2 mL larutan ammonium thiosianat 50 %, 5 mL Stanous klorida 50 %, dan larutan 25 mL thiosianat-etilasetat, setelah masing-masing reagen ditambahkan ke dalam corong pemisah IIB dikocok selama 2 menit. Dibiarkan antara lapisan organik dengan lapisan air terpisah sempurna. Secara hati-hati masukkan lapisan air ke dalam corong pemisah IIC. Ditambahkan lagi larutan thiosianat-etil asetat dan kocok selama 1 menit, didiamkan sampai lapisan organik dan lapisan air terpisah sempurna dan dimasukkan lapisan air ke dalam botol pencacah 2.

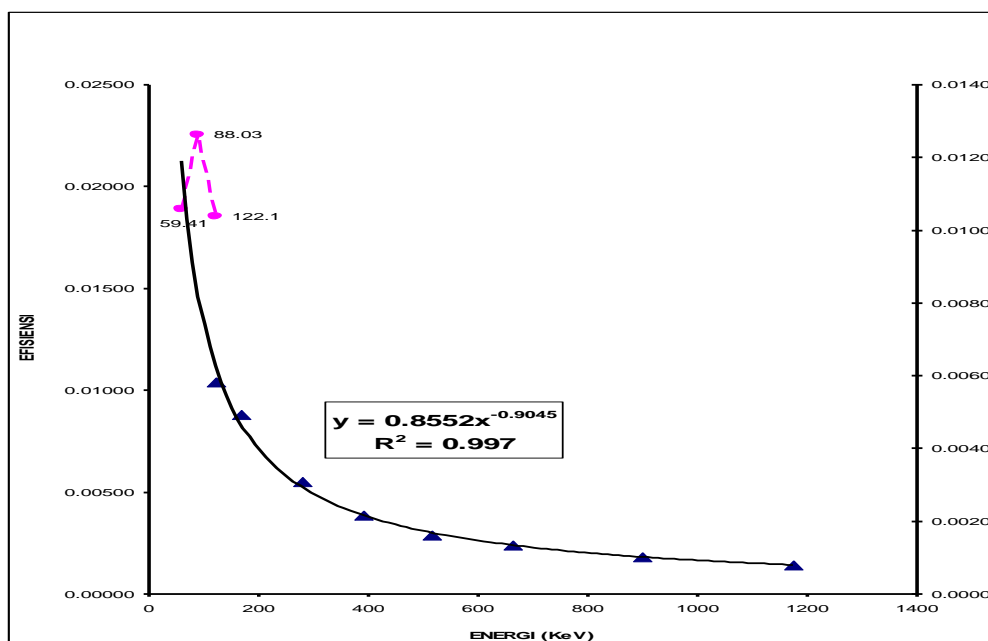
Masing-masing cuplikan yang telah disiapkan dengan ekstraksi iod dan thiosianat dipindah ke ruang pengukuran radioisotop untuk dicacah dengan spektrometer gamma yang telah dikalibrasi dan ditetapkan efisiensi pencacahannya dengan menggunakan sumber campuran standar sinar gamma.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dalam makalah ini meliputi cara penetapan konsentrasi radioaktifitas (mCi/mL) radioisotop  $^{99}\text{Mo}$ , pengotor radionuklida pemancar gamma dalam produk  $^{99}\text{Mo}$  (dalam  $\mu\text{Ci/mL}$  dan  $\mu\text{Ci/mCi}$   $^{99}\text{Mo}$ ). Untuk itu, sebagai contoh penetapan tersebut di atas diambil data untuk percobaan proses produksi  $^{99}\text{Mo}$  pada sampel A, dan dapat dijelaskan seperti berikut ini.

Dalam percobaan ini perangkat spektrometer gamma sebelum digunakan untuk pencacahan sampel terlebih dahulu dikalibrasi menggunakan standar campuran sumber pemancar gamma (radioisotop, energi gamma dan radioaktifitasnya dapat dilihat dalam Tabel 1. Hasil kalibrasi efisiensi dapat dilihat dalam Gambar 2.

Selanjutnya dapat ditetapkan efisiensi pencacahan untuk setiap energi gamma dari radionuklida yang diperkirakan sebagai pengotor di dalam produk  $^{99}\text{Mo}$ , yaitu dengan persamaan  $Y = 0,8552X^{-0,9045}$ , dimana  $Y$  = efisiensi pencacahan dan  $X$  = energi (KeV), hasilnya dapat dilihat dalam Tabel 2.



Gambar 2. Hasil kalibrasi standar campuran radioisotop pemancar gamma untuk energi terhadap efisiensi

Tabel 2 Hasil penetapan efisiensi pencacahan pengotor radioisotop  $^{99}\text{Mo}$ 

No	Isotop	$T_{1/2}$ (Jam)	Energi	Efisiensi
1	Nd-147	263,5	91,1	0,012437
2	Ce-141	780,0	145,4	0,009463
3	Mo-99	65,9	181,1	0,007759
4	Te-132	78,2	227,9	0,006302
5	Np-239	56,5	277,6	0,005272
6	Ce-143	33,1	293,3	0,005016
7	Rh-105	35,4	318,9	0,004651
8	Pm-151	28,4	340,1	0,004388
9	Zr-97	16,8	355,4	0,004216
10	I-131	193,0	364,5	0,004121
11	Ru-103	942,5	497,1	0,003113
12	I-132	2,3	522,7	0,002974
13	I-133	20,8	529,9	0,002938
14	Ba-140	306,0	537,3	0,002901
15	Sr-91	9,5	555,6	0,002815
16	I-131	193,0	637,0	0,002487
17	Nb-97	1,2	657,9	0,002416
18	Sb-127	92,2	685,7	0,002327
19	Mo-99	65,9	739,5	0,002173
20	Zr-95	1536,5	756,7	0,002129
	Nb-95	839,3	765,8	0,002106
21	I-135	6,6	1260,4	0,001342
22	Sr-92	2,7	1383,9	0,001233
23	La-140	40,3	1596,2	0,001084

Penetapan konsentrasi radioaktifitas nuklida  $^{99}\text{Mo}$  ditetapkan dengan persamaan berikut :  $A = (\text{Cps}/\text{Inst}/\text{Eff}/\text{FK}) \times \text{FP}$ , dimana  $A$  = Konsentrasi radioaktifitas nuklida  $^{99}\text{Mo}$ , ( $\mu\text{Ci}/\text{mL}$ ),  $\text{Cps}$  = Cacahan per detik,  $\text{Inst}$  = Intensitas,  $\text{Eff}$  = Efisiensi pencacahan,  $\text{FK}$  = Faktor konversi dari cacahan per detik menjadi mikro Curie ( $\mu\text{Ci}$ ) dan  $\text{FP}$  = Faktor pengenceran. Dari percobaan didapat  $\text{Cps } ^{99}\text{Mo} = 55,1952782$ ,  $\text{Inst} = 0,1219$ ,  $\text{Eff} = 0,002173$ ,  $\text{FK} = 37000$  dan  $\text{FP} = \text{Faktor pengenceran} = 8,00 \times 10^6$ . Sehingga diperoleh konsentrasi radioaktifitas  $^{99}\text{Mo} = 4,51 \times 10^7 \mu\text{Ci}/\text{mL}$ . Demikian juga untuk

penetapan konsentrasi nuklida  $^{99}\text{Mo}$  dalam sampel B, dan konsentrasi radioaktifitas pengotor radionuklida pemancar gamma di dalam produk  $^{99}\text{Mo}$  dalam sampel A dan sampel B. Hasil penetapan konsentrasi radioaktifitas radionuklida  $^{99}\text{Mo}$  baik sebelum dan sesudah ekstraksi dan konsentrasi radioaktifitas pengotor radionuklida pemancar gamma dapat dilihat dalam Tabel 3.

Radioaktifitas total  $^{99}\text{Mo}$  dalam sampel A dan B masing-masing sebesar  $4.51 \times 10^7 \mu\text{Ci}/\text{mL}$  dan  $4.78 \times 10^8 \mu\text{Ci}/\text{mL}$ .

Setelah melalui proses ekstraksi Iod, radioaktivitas total nuklida  $^{99}\text{Mo}$  dalam fraksi organik masing-masing sebesar  $5,88 \times 10^3 \mu\text{Ci/mL}$  dan  $8,32 \times 10^5 \mu\text{Ci/mL}$ . Dan setelah melalui proses ekstraksi thio radioaktivitas total radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  di dalam fraksi anorganik masing-masing sebesar  $3,75 \times 10^3 \mu\text{Ci/mL}$  dan  $8,96 \times 10^5 \mu\text{Ci/mL}$ . Hal ini menunjukkan bahwa radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  berkurang sangat berarti, yaitu masing-masing untuk percobaan pada sampel A, setelah melalui proses ekstraksi iod,  $^{99}\text{Mo}$  berkurang 99,987 % dan untuk percobaan

pada sampel B berkurang 99,826 %. Sedangkan setelah proses ekstraksi thio, total radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  untuk sampel A dan sampel B, masing-masing berkurang sebesar 99,992 % dan 99,813 % (Tabel 2).

Dalam perhitungan konsentrasi pengotor radionuklida pemancar gamma dalam produk  $^{99}\text{Mo}$  hasil fisi diambil pendekatan bahwa semua pengotor radionuklida kelompok halogen terutama  $^{131}\text{I}$  terpisah ke dalam fraksi organik (spesi etil asetat), dan pengotor radionuklida kelompok logam terikut semua ke dalam spesi anorganik.

Tabel 3 Hasil perhitungan konsentrasi radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  dan pengotor radionuklida pemancar gamma untuk sample A dan B

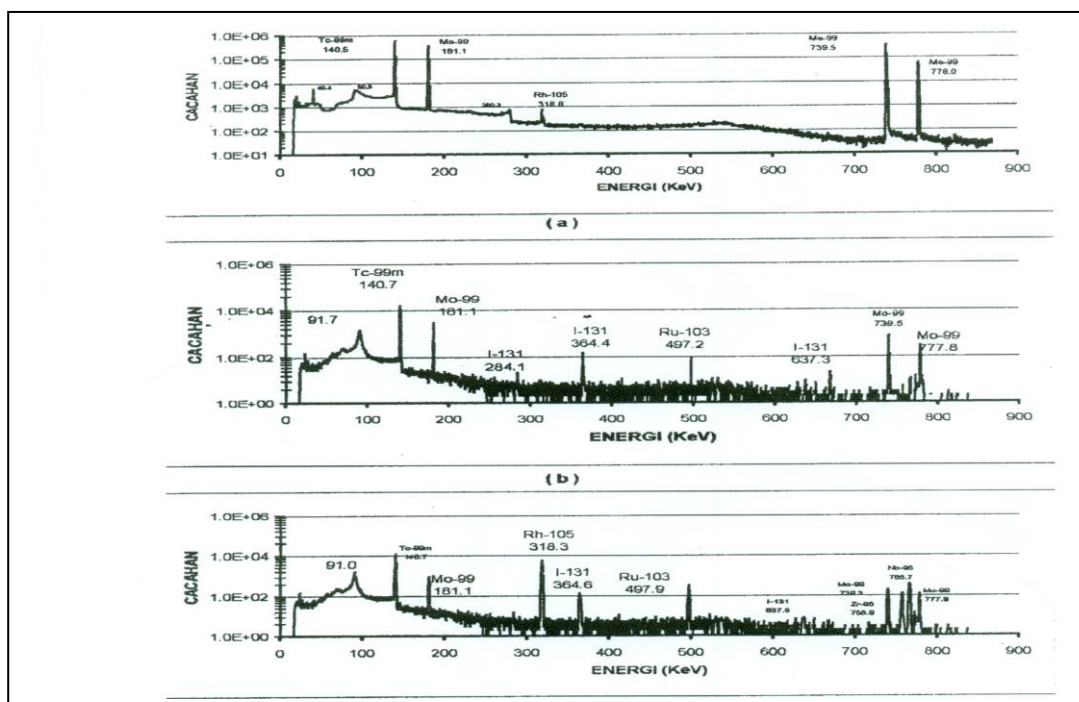
		Isotop					
		Rh-105	I-131	Ru-103	Mo-99	Zr-95	Nb-95
Sampel	Energi (KeV)	318,9	364,5	497,1	739,5	756,7	765,8
A	T. Ekst ( $\mu\text{Ci/mL}$ )	$1,05 \times 10^4$			$4,51 \times 10^7$		
	Ekst. Iod ( $\mu\text{Ci/mL}$ )		$4,01 \times 10^1$	$3,06 \times 10^1$	$5,88 \times 10^3$		
	Kon. Iod ( $\mu\text{Ci/mCiMo}$ )		$8,89 \times 10^{-7}$	$6,78 \times 10^{-7}$			
	Ekst. Tio ( $\mu\text{Ci/mL}$ )	$1,08 \times 10^4$	$7,16 \times 10^1$	$8,35 \times 10^2$	$3,75 \times 10^3$	$8,80 \times 10^1$	$1,26 \times 10^2$
	Kon. Tio ( $\mu\text{Ci/mCiMo}$ )	$2,39 \times 10^{-4}$	$1,59 \times 10^{-6}$	$1,85 \times 10^{-5}$	-	$1,95 \times 10^{-6}$	$2,79 \times 10^{-6}$
B	T. Ekst ( $\mu\text{Ci/mL}$ )	$7,77 \times 10^3$			$4,78 \times 10^8$		$9,42 \times 10^3$
	Ekst. Iod ( $\mu\text{Ci/mL}$ )		$9,46 \times 10^2$		$8,32 \times 10^5$	$1,70 \times 10^3$	$1,14 \times 10^3$
	Kon. Iod ( $\mu\text{Ci/mCiMo}$ )		$1,98 \times 10^{-6}$			$3,57 \times 10^{-6}$	$2,38 \times 10^{-6}$
	Ekst. Tio ( $\mu\text{Ci/mL}$ )	$1,04 \times 10^4$	$8,69 \times 10^2$	$9,57 \times 10^2$	$8,96 \times 10^5$	$2,26 \times 10^3$	$1,63 \times 10^3$
	Kon. Tio ( $\mu\text{Ci/mCiMo}$ )	$2,19 \times 10^{-5}$	$1,82 \times 10^{-6}$	$2,01 \times 10^{-6}$		$4,75 \times 10^{-6}$	$3,41 \times 10^{-6}$
<p>Keterangan :</p> <p>Sampel A = Cuplikan produk <math>^{99}\text{Mo}</math> dari bahan sasaran LEU dengan berat 1,133 gram diiradiasi di dalam reactor GA Serba Guna BATAN, Serpong, dengan fluks neutron <math>1,12 \times 10^{14} \text{ n cm}^{-2} \text{ dtk}^{-1}</math></p> <p>Sampel B = Cuplikan produk <math>^{99}\text{Mo}</math> dari bahan sasaran LEU dengan berat 1,759 gram diiradiasi di dalam reactor GA Serba Guna BATAN, Serpong, dengan fluks neutron <math>1,12 \times 10^{14} \text{ n cm}^{-2} \text{ dtk}^{-1}</math></p>							
		Sampel A		Sampel B			
		Ekst Iod	Ekst Tio	Ekst Iod	Ekst Tio		
% $^{99}\text{Mo}$ terpisah		99,987	99,992	99,826	99,813		
% $^{99}\text{Mo}$ dlm fraksi		0,013	0,008	0,174	0,187		

Dalam sampel A, produk radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  mengandung pengotor radionuklida  $^{105}\text{Rh}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  dan  $^{95}\text{Nb}$  (Tabel 3 dan Gambar 3). Dari pengotor-pengotor tersebut di atas  $^{131}\text{I}$  yang menurut teori harus berada di dalam spesi organik (kloroform) tetapi ternyata masih dapat berada di dalam fraksi anorganik, yaitu saat sampel diekstraksi dengan thio, nuklida  $^{131}\text{I}$  masih terikut di dalam fraksi anorganik.

Hal ini kemungkinan disebabkan radionuklida  $^{131}\text{I}$  dalam bentuk kimia yang berbeda-beda, seperti dalam bentuk iodida ( $\text{I}_2$ ), iodat ( $\text{IO}_3^-$ ), periodat ( $\text{IO}_4^-$ ) dan senyawa lainnya. Oleh karena itu, secara kuantitatif pengotor radionuklida  $^{131}\text{I}$  tidak dapat dipisahkan dengan sempurna ke dalam spesi organik. Namun, secara kuantitatif nuklida  $^{131}\text{I}$  yang berada di dalam fraksi organik masih lebih besar dibanding di dalam spesi anorganik, yaitu  $7,16 \times 10^1 \mu\text{Ci/mL}$  dibanding  $4,01 \times 10^1 \mu\text{Ci/mL}$  atau  $1,59 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi}$

$^{99}\text{Mo}$  dibanding dengan  $8,89 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi}$   $^{99}\text{Mo}$ , sehingga yang diperhitungkan sebagai pengotor tetap yang dihasilkan dari spesi organik (dari ekstraksi iod).

Pengotor radionuklida pemancar gamma kelompok logam (yaitu  $^{105}\text{Rh}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  dan  $^{95}\text{Nb}$ ) tidak terikut di dalam spesi organik saat diekstraksi menggunakan iod. Namun,  $^{103}\text{Ru}$  masih terikut ke dalam spesi organik, tetapi kalau dilihat nilai secara kuantitatif masih lebih kecil dibanding dengan yang berada di dalam spesi anorganik, yaitu  $3,06 \times 10^1 \mu\text{Ci/mL}$  dibanding  $8,35 \times 10^2 \mu\text{Ci/mL}$ . Dari hasil penetapan di atas apabila dibagi dengan konsentrasi radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$ , maka diperoleh kandungan pengotor radionuklida  $^{103}\text{Ru}$  masing-masing sebesar  $6,78 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi}$   $^{99}\text{Mo}$  dan  $1,85 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/mCi}$   $^{99}\text{Mo}$ . Hasil penetapan pengotor radionuklida yang lainnya dalam sampel A dapat dilihat dalam Tabel 2.



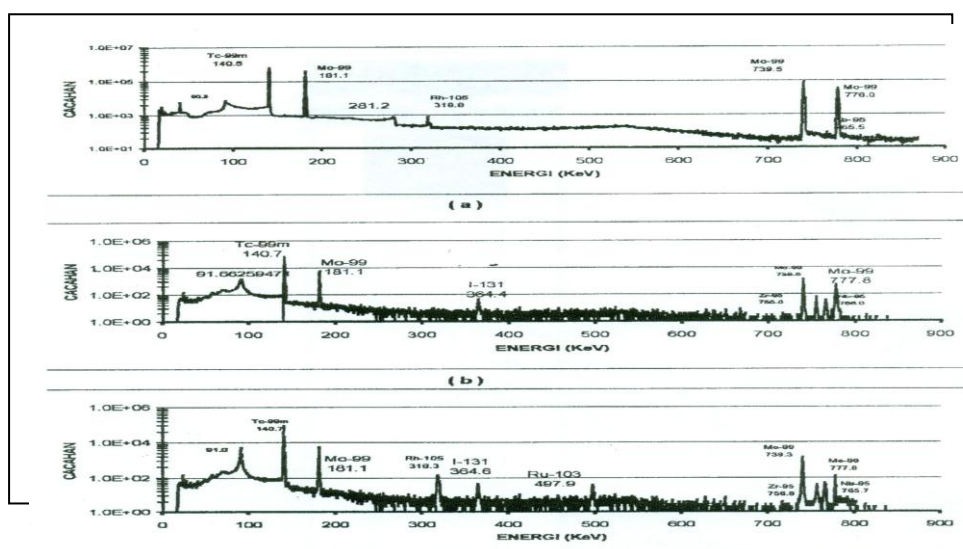
Gambar 3. Kurva spectrum energi gamma isotop  $^{99}\text{Mo}$  dan pengotornya untuk sampel A  
a). Tanpa ekstraksi, b). Ekstraksi iod, dan c). Ekstraksi thio



Dalam sampel B, produk radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  mengandung pengotor radionuklida  $^{105}\text{Rh}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  dan  $^{95}\text{Nb}$  (Tabel 3 dan Gambar 4). Seperti dalam sampel A, pengotor  $^{131}\text{I}$  yang menurut teori harus berada di dalam spesi organik, tetapi ternyata masih dapat berada di dalam fraksi anorganik. Secara kuantitatif nuklida  $^{131}\text{I}$  yang diharapkan berada di dalam fraksi organik, ternyata masih dapat berada di dalam fraksi anorganik, tetapi kandungan  $^{131}\text{I}$  dalam fraksi organik lebih besar dibanding dengan  $^{131}\text{I}$  di dalam spesi anorganik, yaitu  $1,98 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$  dibanding  $1,82 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi } ^{99}\text{Mo}$ , sehingga yang diperhitungkan sebagai pengotor tetap yang dihasilkan dari spesi organik (dari ekstraksi Iod). Pengotor radionuklida pemancar gamma kelompok logam (yaitu  $^{105}\text{Rh}$ , dan  $^{103}\text{Ru}$ ) tidak terikut di dalam spesi organik saat diekstraksi menggunakan iod. Tetapi  $^{95}\text{Zr}$  dan  $^{95}\text{Nb}$ , masih terikut ke dalam spesi organik, tetapi bila dilihat nilai secara kuantitatif masih lebih kecil dibanding dengan yang berada di dalam spesi anorganik, yaitu masing-masing  $2,26 \times 10^3 \mu\text{Ci/mL}$  dan  $1,63 \times 10^3 \mu\text{Ci/mL}$  dibanding  $1,70 \times 10^3 \mu\text{Ci/mL}$  dan  $1,14 \times 10^3 \mu\text{Ci/mL}$ . Dari hasil penetapan konsentrasi pengotor radionuklida di atas kalau dibagi dengan konsentrasi radioaktifitas  $^{99}\text{Mo}$  (mCi/mL),

maka di peroleh kandungan pengotor radionuklida per radioaktifitas  $^{99}\text{Mo}$  (lihat Tabel 3).

Pengotor radionuklida kelompok halogen, terutama  $^{131}\text{I}$ , masih dapat terikut ke dalam spesi anorganik dan sebaliknya pengotor radionuklida pemancar gamma kelompok logam masih dapat terikut ke dalam spesi organik, tetapi masing-masing jumlahnya masih lebih kecil dari yang seharusnya ke dalam fraksi yang dikehendaki. Hal ini kemungkinan kondisi-kondisi yang mempengaruhi ekstraksi kurang dipenuhi, seperti pH, lama ekstraksi atau keras dan lemahnya pengocokan, dan dapat pengotor-pengotor radionuklida pemancar gamma yang ada, misalnya radionuklida  $^{131}\text{I}$  juga disebabkan bentuk molekul dari yang dapat berbentuk iodida ( $\text{I}_2$ ), iodat ( $\text{IO}_3^-$ ), periodat ( $\text{IO}_4^-$ ) dan senyawa lainnya. Demikian juga untuk pengotor kelompok logam. Oleh karena itu, secara kuantitatif pengotor radionuklida kelompok halogen, terutama  $^{131}\text{I}$  tidak dapat dipisahkan dengan sempurna ke dalam spesi organik, demikian pula sebagian pengotor radionuklida golongan logam masih dapat terserap ke dalam fraksi organik.



pengotornya untuk sampel B

a). Tanpa ekstraksi, b). Ekstraksi iod, dan c). Ekstraksi thio

## SIMPULAN

Hasil percobaan menunjukkan bahwa radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  yang merupakan produk dari hasil fisi LEU dapat dipisahkan dengan pengotor radionuklida kelompok halogen (terutama Iodium) dengan ekstraksi Iod dan dengan pengotor radionuklida kelompok logam dengan ekstraksi Thio, yang masing-masing di atas 99,813 %. Pengotor radionuklida pemancar gamma yang terkandung dalam produk  $^{99}\text{Mo}$  adalah  $^{131}\text{I}$ ,  $^{105}\text{Rh}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  dan  $^{95}\text{Nb}$ . Pengotor radionuklida  $^{131}\text{I}$  hampir berada di semua fraksi hasil pemisahan ekstraksi Iod dan Thio dalam sampel A yaitu masing-masing sebesar  $8,89 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/mCi}$  dan  $1,59 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi}$   $^{99}\text{Mo}$  dan sampel B masing-masing sebesar  $1,98 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi}$  dan  $1,82 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/mCi}$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- MUTALIB A., G.F. VANDEGRIFT, C. CONNER, A.H. GUNAWAN, H. LUBIS, A. SUKMANA, PURWADI B, WISNUKATON K., D.T. DJATMIKO, SRIYONO." Pengembangan Proses Produksi Molibdenum-99 Hasil Fisi dengan Menggunakan Target Logam Uranium Pengkayaan Rendah". Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka, edisi 3, no. 1, tahun 2000, hlm 1 – 28.
- SOENARJO S, GUNAWAN A H, WISNUKATON K, PURWADI B, SUKMANA A, SRIYONO, RUKMAN. "Pemisahan Fraksi Radioiod dalam Proses  $^{99}\text{Mo}$  Hasil Fisi  $^{235}\text{U}$  dan Penggunaannya untuk Hipuran-I-131". Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka, edisi I, no 1, tahun 1998, hlm. 21 – 35.
- WISNUKATON K, KOMALA I, GUNAWAN A H, IBON S., M. SAYAD, DJOHARLY, SOVILAWATI E, MARTALENA, TOGAR M. RITONGA, YAYAN TAHYAN, DADANG H., HERLINA, KARYADI, ENNY L., ENDANG S., MUJINAH DAN DEDE KURNIASIH. " Proses Uji Kualitas Produk  $^{99}\text{Mo}$  Hasil Belah  $^{235}\text{U}$  Di Pusat Produksi Radioisotop Periode 1995 – 1996". Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka, edisi I, no 2, tahun 1998, hlm. 93 – 106.
- ARNIKAR H J." *Essentials Nuclear Chemistry*". Wiley Eastern Limited, New Delhi, India, tahun 1983, hlm. 186 – 208.
- ZAHIRUDDIN A, MUTALIB A., GUNAWAN A H, MOERIDUN, LUBIS H, A. AZIS RAUF, M. SAYAD, KADA-RISMAN, MARTALENA R., A. SUKMANA DAN M. PANCOKO. " Produksi  $^{99}\text{Mo}$  dari LEU yang Diiradiasi Neutron : Kajian Penggunaan Proses Cintichem yang Dimodifikasi, Majalah Hasil Penelitian Pusat Produksi Radioisotop 1". Tahun 1995, hlm. 15 – 28.
- ANONIM. "*Radioisotope Production and Quality Control*". Technical Series No. 128, tahun 1971, hlm. 698 – 708.
- ANONYMOUS. "*Manufacture Manual Fission Products  $^{99}\text{Mo}$* ". Dokumen internal, tahun 1982, hlm. I-1 s/d V-40.
- DE (WESLEY) WU, SHELDON LANDSBERGER AND G. F. VANDERGRIFT. "*Guide Notes for Technical Discussions on  $^{99}\text{Mo}$  Production Using LEU, for visit to PUSPIPTEK*". Desember 11 – 15, tahun 1995, pp. 51 – 109.
- J. BASET, C. CHEM. F.R.I.C., R.C. DENNY, C. CHEM. F.R.I.C., J. MENDHAM, MSC., C. CHEM., M.R.I.C. "Buku Ajar, Vogel: Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik (Vogel's Textbook of Quantitative Inorganic Analysis)". Alih Bahasa, A. Hadyana Pudjaatmaka dan. Setiono L, tahun 1971, hlm. 165 – 189.
- ANONIM." *Quality Control Manual Fission Products  $^{99}\text{Mo}$* ". Dokumen internal, tahun 1982.